



TITLE:

Heating Value and Energy Recovery Potential of Sewage Sludge and Suspended Solids in Municipal Wastewater Treatment Plant(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

Yahya, Mahzoun

CITATION:

Yahya, Mahzoun. Heating Value and Energy Recovery Potential of Sewage Sludge and Suspended Solids in Municipal Wastewater Treatment Plant. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21096>

RIGHT:

許諾条件により本文は2019-01-15に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	Yahya Mahzoun
論文題目	Heating Value and Energy Recovery Potential of Sewage Sludge and Suspended Solids in Municipal Wastewater Treatment Plant（都市下水処理場における下水汚泥及び下水中汚濁粒子の発熱量とエネルギー回収可能性に関する研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>下水処理から発生する汚泥は産業廃棄物の中で 2 番目に大量であり、適切な処理が求められる一方、都市から発生する貴重なバイオマス資源でもあり、その有効利用は温室効果ガス削減の観点からも期待されている。本論文は、下水処理場から発生する下水汚泥及び下水に含まれる汚濁粒子のさらなる再生可能エネルギー源としての有効利用を促すため、下水汚泥脱水ケーキの性状の違いが発熱量に与える影響を明らかにした。さらに、少量の試料に対する発熱量の測定方法を開発し、汚濁粒子のサイズごとの発熱量の分布について調査検討したものである。</p> <p>第 1 章は序論であり、研究背景として下水汚泥のエネルギー資源としての価値について述べ、研究の目的・構成について説明している。</p> <p>第 2 章は文献調査を行い、世界（EU、アメリカ、中国）と日本の下水汚泥発生量とその管理についてまとめるとともに、発熱量予測や下水汚泥粒子分布に関する先行研究についてまとめている。</p> <p>第 3 章は日本全国の約 30 種類の下水汚泥脱水ケーキの性状調査を行い、その性状を整理するとともに、過去の調査結果と比較することで、性状の変遷とその要因を推定した。また高位発熱量については、新たな予測式を提案することを目指した。まず、下水汚泥脱水ケーキの性状に影響する下水排除方式と汚泥種から 4 区分での標準的な脱水ケーキ性状を提示し、数量化 I 類により統計的に整理した。次に有機物構成元素等について 1983 年の調査結果と比較したところ、その変遷として汚泥中有機物濃度、高位発熱量は増加したが、有機分中の酸素含有率が増えた結果、有機分あたりの高位発熱量は低下していることを明らかにした。この原因としては、合流式下水道の改善や曝気槽でのエアレーション時間の増加が示唆された。最後に、乾燥重量（Dry sludge:DS）当たりの高位発熱量：Hh（kJ/kg-DS）の予測式として、強熱減量：V（% DS）を用いた、$Hh = 4.186 \times (50.2V + 308)$ を提示し、本式が 1983 年調査による予測式とは統計的に異なり、平均相対誤差として 2.47 %以下の精度で予測できることを示した。</p> <p>第 4 章は、熱重量・示差熱分析(Thermogravimetric and differential thermal analysis: TG-DTA)により、強熱減量と発熱量を少量の試料でかつ同時に推定する手法を実験的に検討した。まず、下水試験方法から求めた強熱減量と、TG 曲線から求めた強熱減量は 1:1 の高い相関を示し、相対誤差の平均値は、1.02% であったことから十分な精度で強熱減量を推定できることが確認された。DTA 曲線は、2 つのピークを有し、これらのピークの大小から 2 つのグループに区分できた。多変量解析等から、この違いは、主に消化の有無に由来することが示された。ピーク面積と、校正係数:K の強熱減量による実験式から求めた低位発熱量と、ボンブ熱量計と元素分析計により求めた低位発熱量を比較したところ、概ね 1:1 の高い相関が得られ、相関誤差の平均は 5.17~5.20% の範囲で、低位</p>			

京都大学	博士（工 学）	氏名	Yahya Mahzoun
<p>発熱量の推定が可能であった。</p> <p>第 5 章は、より効率的な汚泥からのエネルギー回収の可能性を検討するために、最初沈殿池周りの汚濁粒子の質量分布及び発熱量分布を調査した。最初沈殿池処理後において下水中汚濁粒子のサイズは減少することを明らかにし、より小さいサイズの粒子の方が単位質量当たりの発熱量が高いことを示した。最初沈殿池に流入するエネルギーの 75%が汚濁粒子の沈殿物（汚泥）として回収され、残りが越流水として生物処理プロセスへと移行することが明らかとなった。粒子サイズが減少するとともにエネルギーの回収率及び粒子除去率が減少することから、最初沈殿池で粒子除去を強化することによってさらにエネルギー回収率を上げることができると考えられた。この手法としてろ過や化学的凝集法が提案された。</p> <p>第 6 章は、第 5 章で得られた実験結果をもとに、最初沈殿池における固形物回収率がエネルギー回収に及ぼす影響について、水面積負荷を変化させて試算している。水面積負荷を上昇させると固形物回収率は増加することがわかったが、その増加率は低く、本調査対象のケースでは有効な手段とは言えないことを示した。</p> <p>第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約し、今後の課題を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

下水処理から発生する汚泥は大量であり、適切な処理が求められる一方、都市から発生する貴重なバイオマス資源でもある。持続可能な社会の形成には下水汚泥の再生可能エネルギー資源としての有効利用が期待されている。本論文は、下水処理場から発生する下水汚泥及び下水に含まれる汚濁粒子の燃料的価値に注目し、下水汚泥脱水ケーキの性状の違いを明らかにし、さらに少量の試料に対する発熱量の測定方法及び粒子サイズごとの発熱量の分布について調査検討したものである。得られた主な成果は以下のとおりである。

日本全国約 30 種類の下水汚泥脱水ケーキの性状調査を行い、数量化 I 類により解析することで下水排除方式と汚泥種から 4 区分での標準的な脱水ケーキ性状を示した。次に、30 年前の組成と比較したところ、有機物濃度、高位発熱量は増加したが、有機分中の酸素含有率が増加した結果、有機分当たりの発熱量が低下していることを明らかにした。最後に、統計的に精度良い高位発熱量の予測式を提示し、30 年前の調査による予測式との違いを明らかにした。

次に、熱重量・示差熱分析 (TG-DTA) を用いて、下水汚泥の強熱減量 (有機物量) および発熱量を推定する条件・手法を開発した。650℃まで 10℃/min で加熱した時の熱重量 (TG) の変化により有機物量を推定するとともに、示差熱 (DTA) 曲線の面積から発熱量を計算した。有機物量と示差熱面積には強い相関が認められ、別途測定した公定法と本提案法による発熱量との比較を行うと、傾き 0.999、誤差 5% 程度で発熱量が求められることを明らかにした。

最後に、より効率的な汚泥からのエネルギー回収の可能性を検討するために、最初沈殿池周りの汚濁粒子の分布及び発熱量分布を調査した。最初沈殿池処理後において粒子サイズは減少することを明らかにし、より小さいサイズの粒子の方が単位質量当たりの発熱量が高いことを示した。最初沈殿池に流入するエネルギーの 75% が汚濁粒子の沈殿物 (汚泥) として回収され、残りが越流水として生物処理プロセスへと移行することが明らかとなり、粒子サイズがエネルギー回収の一つの重要要因であることを示した。さらに、水面積負荷が汚濁粒子の回収に与える影響について粒子分布を考慮して計算し、本調査で対象としたケースでは影響が小さいことを明らかにした。

以上より、本論文において下水汚泥脱水ケーキの性状の違いを調べ、燃料的価値を明らかにするとともに、開発した TG-DTA による発熱量測定方法により汚濁粒子のサイズごとの発熱量の分布を求めることで、沈殿池周りのエネルギー回収率を示すことを可能とした。

本論文は、下水汚泥の燃料的価値について検討したものであり、再生可能エネルギーの一つである都市型バイオマス資源の今後の有効利用や下水処理場の沈殿池、生物処理プロセスにおける設計変更への基礎情報として、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 30 年 2 月 19 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、(平成 31 年 1 月 14 日までの間) 当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。